

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Návrh efektoru pro uchopování plošných objektů manipulace

Proposal of Effector for gripping Flat Objects of Manipulation

Student:

Robert Pastor

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Mihola Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Robert Pastor**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Návrh efektoru pro uchopování plošných objektů manipulace**
Proposal of Effector for gripping Flat Objects of Manipulation

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešení problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete varianty konstrukčního řešení efektoru průmyslového robotu, určeného pro manipulaci s plošnými objekty.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

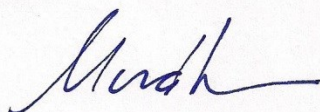
1. Burkovíč, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. 110 s. ISBN 80-248-0709-2.
2. Talácko, J.-Matička, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. ČVUT, Praha, 1995. 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
3. Burkovíč, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-24-1869-6.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

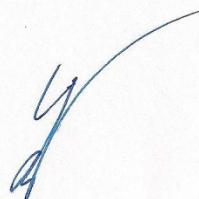
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15.5.2015

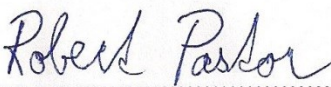
Robert Pastor
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2015


.....
podpis

Robert Pastor

Gen. Janka 2

709 00, Ostrava

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PASTOR, R. *Návrh efektoru pro uchopování plošných objektů manipulace: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 45s. Vedoucí práce: Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem efektoru pro manipulaci s kovovými plechy. V úvodu práce je navrženo pracoviště ve kterém bude efektor fungovat. Na základě rozměrů pracoviště a rychlostí pohybu robotu jsou zjištěny síly působící na efektor. Jsou navrženy tři varianty a pomocí hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta konstrukce efektoru. V CAD systému Creo Parametric 3.0 je vyhotoven 3D model vybrané varianty a výkresová dokumentace, výpočtová dokumentace je provedena v programu MITCalc.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PASTOR, R. *Proposal of Effector for gripping Flat Objects of Manipulation: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 45p. Thesis head: Ing. Milan Mihola, Ph.D.

This thesis deals with designing an end effector for manipulation of metal sheets. In the introduction a workplace in which the end effector will function is designed. Based on the dimensions of the workplace and the speed of the robot the forces applied to the end effector are determined. Three variants of the end effector are proposed and the optimal one is selected based on a value analysis. 3D model and drawings of the chosen variant are made in CAD system Creo Parametric 3.0, computations are done in MITCalc program.

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanu Miholovi Ph.D. za cenné rady a připomínky při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Václavu Krysovi Ph.D. a všem ostatním, kteří mi poradili nebo mě podpořili při vypracování této práce.

Obsah

Seznam použitého označení	9
1 Úvod.....	10
2 Přehled současného stavu řešené problematiky	11
2.1 Efektory	11
2.1.1 Struktura efektorů.....	11
2.1.2 Mechanické úchopné efektory	12
2.1.3 Efektory s přísavkami	12
2.1.4 Magnetické efektory.....	13
2.2 Lisovací pracoviště	14
2.2.1 Lisovací linky.....	15
2.2.2 Použití sedmého stupně volnosti.....	16
3 Požadavkový list	17
4 Popis robotizovaného technologického pracoviště	18
4.1 Popis a rozměry OM	18
4.2 Rozvržení technologického pracoviště	18
4.3 Robot.....	20
4.4 Pracovní časy a rychlosti	21
5 Varianty řešení	23
5.1 Varianta A.....	23
5.2 Varianta B.....	24
5.3 Varianta C	24
6 Výběr optimální varianty	25
6.1 Zvolení kritérií	25
6.2 Určení významnosti	26
7 Konstrukční řešení	28
7.1 Vakuová technika	28
7.1.1 Výpočet průměru přísavek	28

7.1.2	Kontrola přísavek	30
7.1.3	Úhlové vyrovnání	30
7.1.4	Ejektor	33
7.1.5	Hadice a šroubení	33
7.2	Nosníky	34
7.2.1	Čtvercový profil	34
7.2.2	Profil L	36
7.3	Přestavitelnost	38
7.4	Šroubové spoje	38
7.5	Příruba	40
7.6	Úprava na hliník	41
8	Cenová kalkulace	42
	Závěr	43
	Seznam použitých pramenů	44
	Seznam příloh	45
	Přiložený disk:	45
	Dokumentace:	45

Seznam použitého označení

Značka	Veličina	Jednotky
C	Součinitel odporu	–
F_1	Zatěžující síla	N
F_{amax}	Maximální osová síla	N
F_o	Odporová síla	N
R_2	Reakční síla	N
S_{OM}	Plocha objektu manipulace	m^2
a_h	Zrychlení ve vodorovném směru	$m \cdot s^{-2}$
a_{max}	Maximální zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
a_d	Dostředivé zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
a_t	Tečné zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
a_v	Zrychlení ve svislém směru	$m \cdot s^{-2}$
i	Počet přísavek	–
m_1	Hmotnost prvního nosníku	kg
m_{OM}	Hmotnost objektu manipulace	kg
m_{ef}	Hmotnost efektoru	kg
s_h	Dráha ve vodorovném směru	m
s_v	Dráha ve svislém směru	m
t_c	Celkový čas operace	s
t_d	Čas brzdění	s
t_r	Čas rozběhu	s
t_u	Čas ustáleného pohybu	s
v_h	Ustálená rychlost ve vodorovném směru	$m \cdot s^{-1}$
v_v	Ustálená rychlost ve svislém směru	$m \cdot s^{-1}$
ε	Úhlové zrychlení	s^{-2}
ρ	Hustota vzduchu	$kg \cdot m^{-3}$
φ	Úhlová dráha	°
ω_u	Ustálená úhlová rychlost	s^{-1}

1 Úvod

Efektory pro uchopování plošných materiálů se často využívají v průmyslu k manipulaci s kovovými plechy, tabulovým sklem, dřevěnými deskami a dalšími materiály. Hojně využívaná technologie úchopu plošných materiálů jsou vakuové přísavky. Vzhledem k často dostupnému zdroji tlačného vzduchu v továrnách je zavedení pneumatického systému velmi jednoduché.

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem efektoru, který je využíván k přesunu plechů na lisovacím pracovišti. Efektor bude umístěn na průmyslovém robotu s šesti stupni volnosti. Efektor bude pracovat s dvěmi různými objekty manipulace. Nejprve s rovným plechovým polotovarem a následně s výliskem složitého tvaru. Tento rozdíl tvaru bude muset efektor kompenzovat.

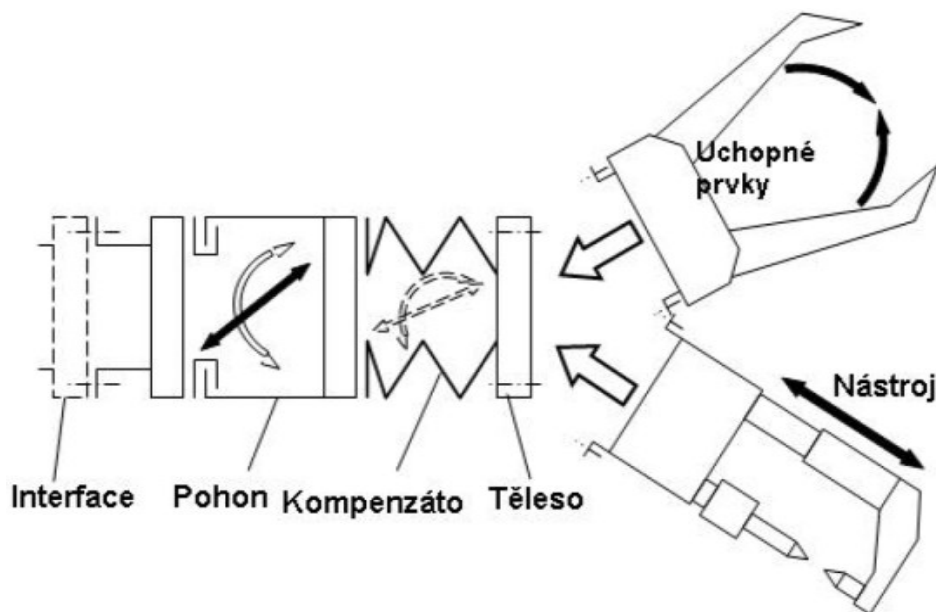
2 Přehled současného stavu řešené problematiky

2.1 Efektory

Efektor je výkonným subsystémem průmyslového, případně servisního robotu. Účelem efektoru je vlastní realizace úkolů, pro které je robot předurčen, tj. manipulace různými objekty se zadanými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, aj. Efektory může uživatel nově zakoupeného robotu, pro definovaný úkol a objekt manipulace, pořídit různým způsobem – zakoupit u dodavatele robotu, zakoupit u specializované firmy, vyrábějící standardní typy efektorů, nebo navrhnout vlastními silami.[1]

2.1.1 Struktura efektorů

Obecná struktura efektoru (Obrázek 2.1) podává přehledný obraz o základních stavebních prvcích efektoru z hlediska účelu i funkce. Tyto stavební prvky mohou být v konkrétní konstrukci efektoru zastoupeny v různých kombinacích, podle funkcí, které realizují.[1]



Obrázek 2.1 – Obecná struktura efektoru

2.1.2 Mechanické úchopné efektory

Mechanické úchopné efektory jsou převládajícím druhem efektorů. Úchopné prvky mohou být aktivní a pasivní. Počet úchopných prvků a jejich rozmístění v efektoru ovlivňuje velikost úchopné síly, určení polohy a orientace OM v úchopné hlavici.[1]

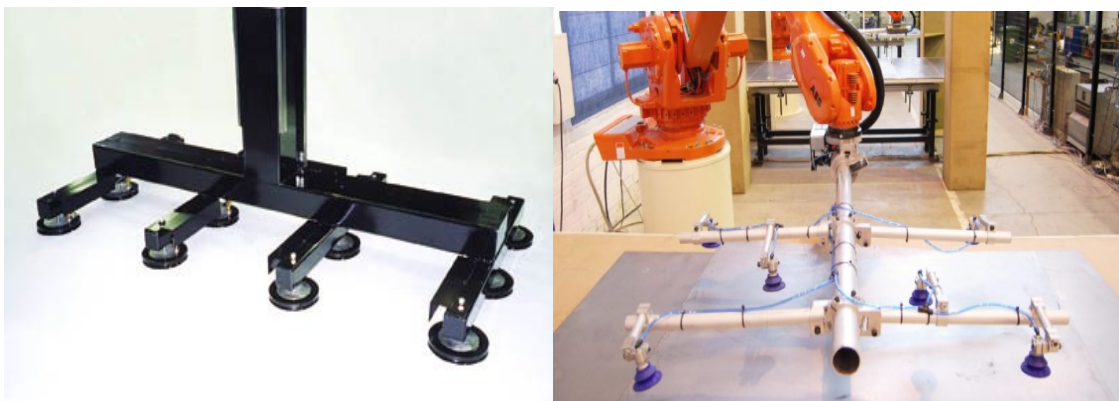


Obrázek 2.2 – Mechanické efektory

2.1.3 Efekторы s přísavkami

Tyto efekторы využívají podtlak tekutin pro přilnutí k neporézním povrchům. Tlak vzduchu na vnější straně přísavky je větší než pod přísavkou, čímž je přísavka přitlačována k pracovní ploše. Existují pasivní a aktivní přísavky. Pasivní přísavky vytvářejí podtlak pouhým přitlačením přísavky k povrchu. Aktivní přísavky samy o sobě neslouží k vytváření vakua, ale vakuum je do přísavky přiváděno z externího zdroje. Typicky používaným zdrojem vakua pro tento účel jsou ejektory, nebo v omezenější míře také vývěvy. Veškerý přisávaný vzduch je průběžně z prostoru pod přísavkou odsáván, takže doba přichycení je zde prakticky limitována pouze činností zdroje vakua. [8]

Ve většině aplikací je použití vakuových přísavek k uchycení součásti ta nejúčinnější i nejlevnější alternativa. Vakuové přísavky jsou poměrně levné, spolehlivé a jednoduché na výměnu.[2]



Obrázek 2.3 – Efektory s přísavkami

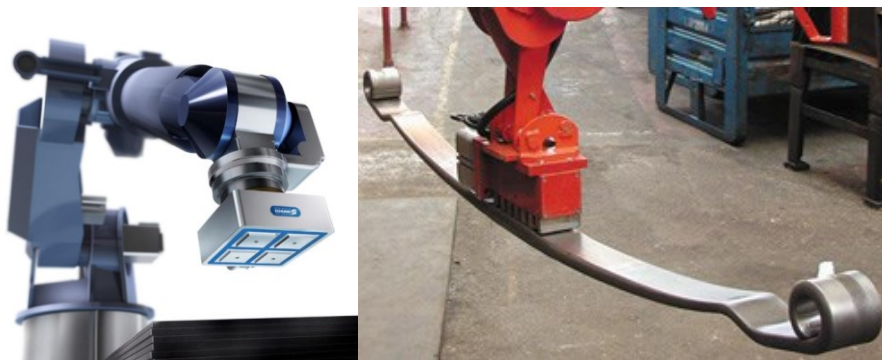
Ploché a vlnovcové přísavky

Pokud je povrch součásti hladký a rovný, ploché přísavky jsou většinou nejlepší volbou. Ploché přísavky se rychle přichytí i odlepí a protože si zachovávají svůj tvar, drží dobře i na svislých površích. [2]

Pokud je povrch zdrsňený, zakřivený nebo nahnutý, používají se vlnovcové přísavky. Vlnovcové přísavky existují v různých provedeních, což jim umožňuje přichytit se na široké škále nerovných povrchů. Z důvodu, že mají vlnovcové přísavky tendenci se deformovat více než ploché přísavky, mají někdy problém udržet si podtlak při zvedání těžších součástí. [2]

2.1.4 Magnetické efektory

Tyto efektory potřebují pouze jeden povrch pro uchopení objektu manipulace. Rychlost uchopení je vysoká. Jsou flexibilní, protože nepotřebují jiný design pro různé součásti. Může chytat dírované součásti, což není možné s vakuovými přísavkami.



Obrázek 2.4 – Magnetické efekторы

Elektromagnety

Efekторы požívací elektromagnety jsou většinou napájeny stejnosměrným napětím. Tento typ magnetického efektoru je jednoduchý na ovládání, protože se jeho magnetické pole dá vypnout přerušením proudu. To také může pomoci odstranit magnetismus manipulovaného objektu. [3]

Permanentní magnety

Tyto druhy efektorů nepotřebují k fungování elektrický proud. Jsou stále „zapnuté“. K tomu, aby byl objekt oddělen od magnetu je v efektoru výtlačný kolík. Permanentní magnet nabízí bezpečnost v případě výpadku proudu, neboť manipulovaný objekt zůstává na magnetu. Díky tomu, že k funkci nepotřebuje elektrický proud, nehrozí u tohoto typu tvorba jisker. [3]

2.2 Lisovací pracoviště

Lis působí silou ve formě tlaku na stlačované těleso. To se následkem síly deformuje a mění tvar. Lisy se rozdělují do skupin podle toho, jakou energii využívají (ruční lis, hydraulický lis, mechanický lis), podle své stavby (např. horizontální lis) nebo způsobu užití (ovocný lis, pakovací lis apod.). Velikost lisu může být velmi různá. [5]

Na lisovacím pracovišti může docházet k několika různým operacím jako jsou ohýbání, lemování, ražení, tažení, stříhání a další.

2.2.1 Lisovací linky

Výroba velkých dílů, většinou pro karoserie aut, vyžaduje použití různých lisů, kterými jsou díly tvářeny. V lince je lis, dvouakční nebo jednoakční, podporován tlumičem a několik dalších lisů, v závislosti na počtu operací potřebných k výrobě dílů.

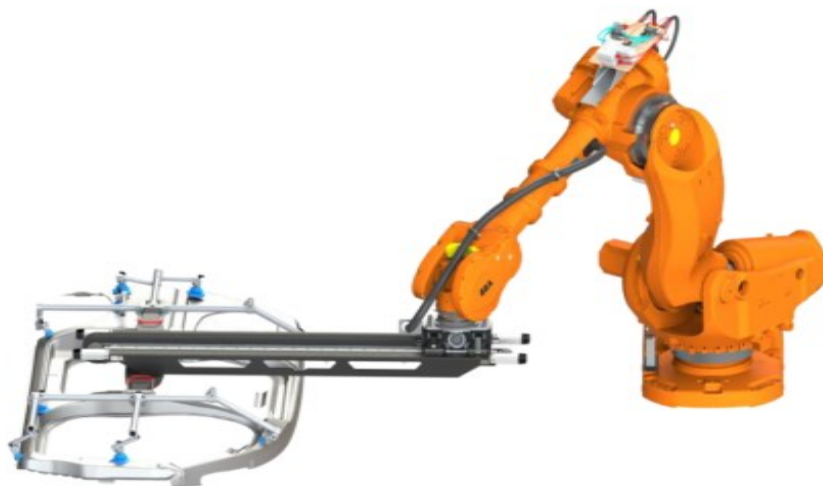
V současnosti jsou linky zcela automatizované. Nakládací operace, prováděny vykladačem polotovarů, a přesun mezi lisy, vykonáván roboty nebo jinými prostředky, již není manuální. [6]



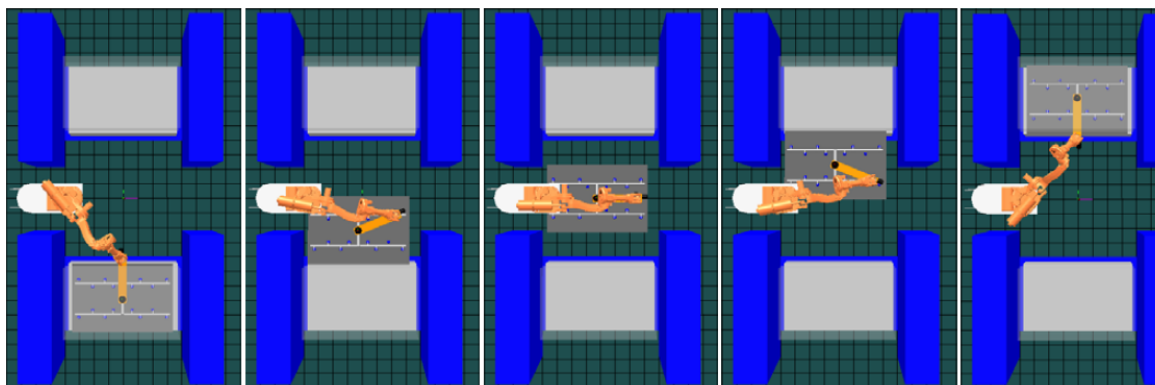
Obrázek 2.5 – Lisovací linka

2.2.2 Použití sedmého stupně volnosti

Použití přídavného rotačního pohonu v efektoru (Obrázek 2.6) lze dosáhnout rychlejších časů na přesun materiálu. Tento přidaný pohyb umožňuje robotům v lisovací lince přesouvat součásti při zachování orientace. (Obrázek 2.7) Protože se nemusí se součástí při přesunu mezi lisy otáčet, vznikají menší momenty setrvačnosti a tím i menší vibrace. [4]



Obrázek 2.6 – Robot s přidaným stupněm volnosti



Obrázek 2.7 – Zachování orientace OM při přesunu

3 Požadavkový list

Obsedné parametry:

- Efektor složí k umístování a vyndávání materiálu z lisovacího stroje

Parametry materiálu:

- Ocelový plech o maximálních rozměrech 1500 x 1200 mm
- Tloušťka plechu maximálně 1 mm
- Hladký povrch materiálu

Účel funkce:

- Přesné umístění materiálu do pracovních prostor lisu a následné vyjmutí výlisku z lisu a uložení výlisku na paletu, nebo dopravník.

Situační požadavky:

- Zařízení bude umístěno v zastřešené budově pod stropem (rozměrová omezení)

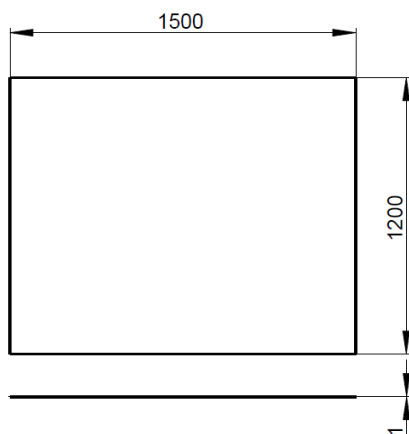
Ostatní:

- Nízká cena
- Vysoká efektivita

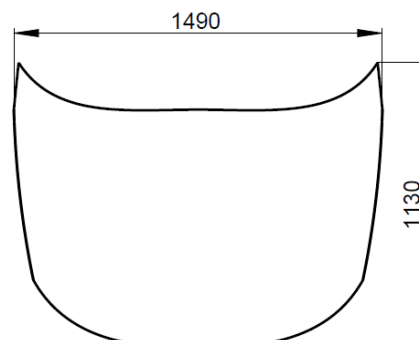
4 Popis robotizovaného technologického pracoviště

4.1 Popis a rozměry OM

Objektem manipulace je ocelový plech. Tvar polotovaru je jednoduchý rovný plech obdelníkového tvaru. Po lisování má plech tvar zakřivené plochy. Hmotnost plechu před lisováním je 14,1 kg.



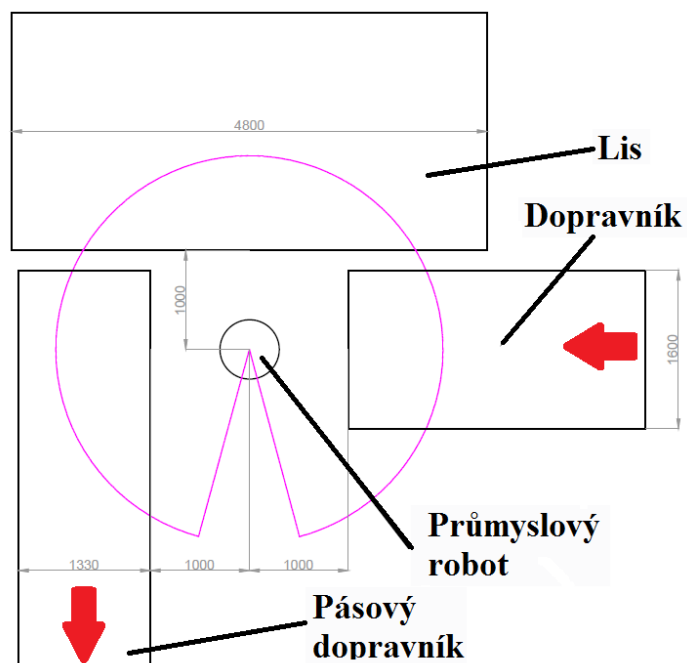
Obrázek 4.1 – Rozměry polotovaru



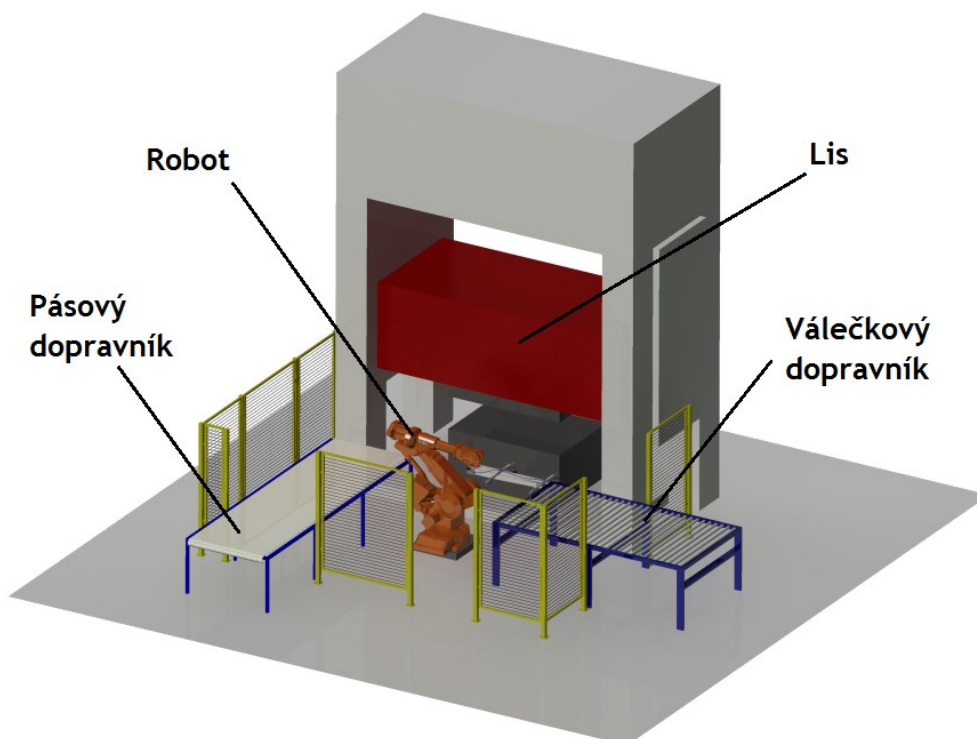
Obrázek 4.2 – Rozměry výlisku

4.2 Rozvržení technologického pracoviště

Pracoviště se skládá z lisu, válečkového dopravníku, pásového dopravníku a robotu s navrhovaným efektozem. Vstup materiálu na pracoviště zajišťuje válečkový dopravník, kterým se k robotu dostávají polotovary, nařezané plechy. Robot přesouvá polotovary do lisu a po lisování vytahuje výlisky a pokládá je na pásový dopravník, pomocí kterého se materiál dostává z pracoviště.



Obrázek 4.3 – Schéma pracoviště



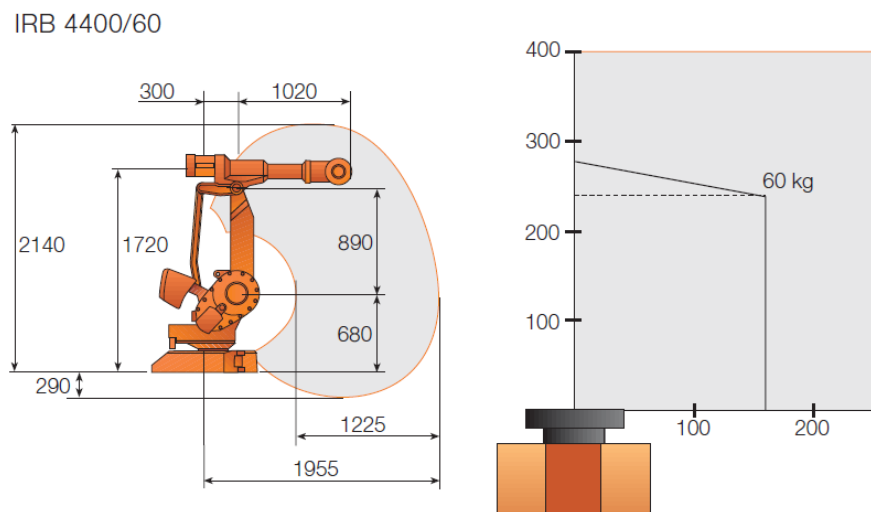
Obrázek 4.4 – model pracoviště

4.3 Robot



Obrázek 4.5 – IRB 4400

Robot IRB 4400 (Obrázek 4.5) od firmy ABB je rychlý, kompaktní robot pro manipulaci středně těžkých objektů. Má dosah 1,96 metrů (Obrázek 4.6) a může manipulovat s objekty o hmotnosti až 60 kg. (Příloha A:)



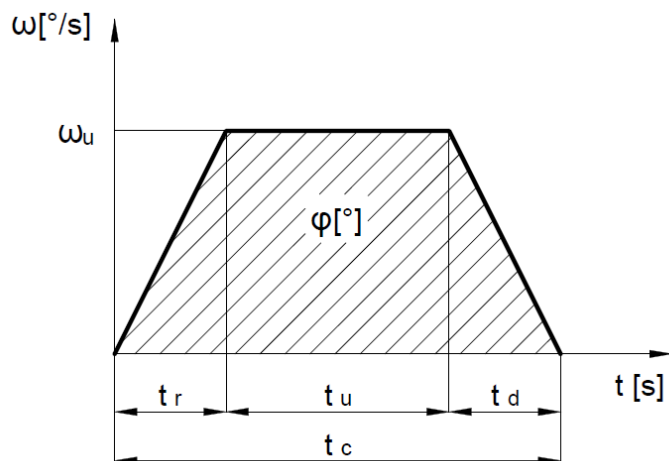
Obrázek 4.6 – Dosah robotu IRB 4400

Interface

Zajišťuje propojení efektoru s koncovou částí robotu, která je realizována na posledním stupni orientačního ústrojí. Obě části interface na robotu i na efektoru si musí tvary, rozměry i parametry odpovídat. Interface musí zajistit nejen přesné a tuhé propojení efektoru, ale také propojení energetické a informační kabeláže a potrubí, aj. [1]

4.4 Pracovní časy a rychlosti

Celý cyklus pohybu ramene může mít v praxi složitý průběh, avšak pro pochopení a analýzu souvislostí ho lze zjednodušit a znázornit lichoběžníkovou funkcí. V tomto případě je při rozběhu a zastavení úhlové zrychlení (zpomalení) $\varepsilon = \text{konst.}$ Jednotlivá ramena robotu v průběhu technologické či manipulační operace na pracovišti tento charakter cyklu vícekrát realizují. [1]



Obrázek 4.7 – Průběh rychlosti ramene robotu

Při předpokladu stejného času rozběhu a brzdění, platí následující vztah:

$$t_c = t_r + t_u + t_d$$

$$\varphi = \omega_u \cdot (t_u + t_r) = \omega_u \cdot (t_u + t_d)$$

Pokud bude rameno zrychlovat 20% celkového času, budou platit tyto vztahy:

$$t_r = t_d = 0,2 \cdot t_c$$

$$\omega_u = \frac{\varphi}{(t_u + t_r)} = \frac{\varphi}{0,8 \cdot t_c}$$

$$\omega_u = \varepsilon \cdot t_r$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_u}{t_r} = \frac{\omega_u}{0,2 \cdot t_c}$$

$$a_t = \varepsilon \cdot r$$

$$a_d = \omega_u^2 \cdot r$$

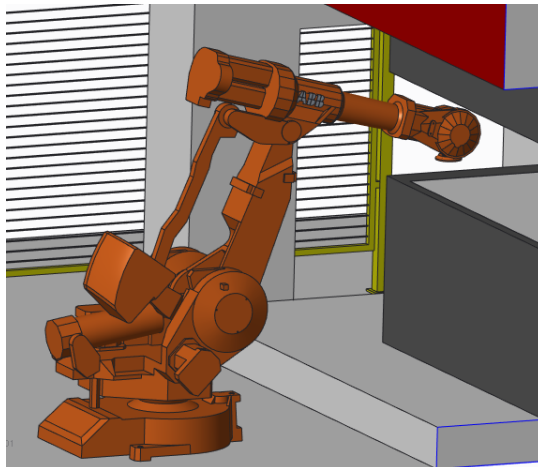
Pracovní cyklus je rozdělen na 11 operací. Robot nejprve uchopí polotovar na dopravníku, poté jej nadzvedne a přesune z prostoru nad dopravníkem. Následně se s polotovarem otočí směrem k lisu a vloží polotovar dovnitř. Po lisování robot vyjme výlisek z lisu a otočí se směrem k pásovému dopravníku, na který pokládá výlisek. Poté se přesune nad první dopravník a celý cyklus se opakuje. V tabulce jsou uvedeny vypočtené rychlosti a zrychlení, které působí na objekt manipulace.

Tabulka 1 – Rychlosti a zrychlení

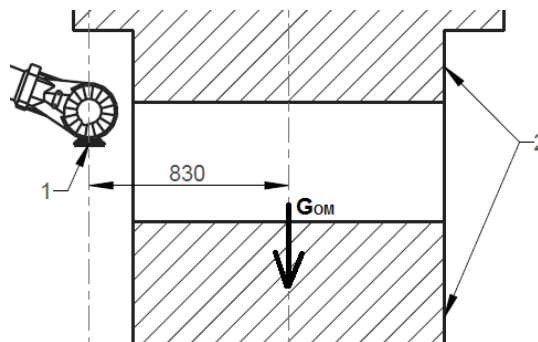
Operace	Čas [s]	Dráha [m]	Rychlost	Zrychlení
Uchopení	$t_c = 0,5$	–	–	–
Nadzvednutí polotovaru nad dopravník	$t_c = 0,5$	$s_v = 0,1$	$v_v = 0,25$	$a_v = 2,5$
Přesun s polotovarem	$t_c = 1$	$s_h = 0,7$ $s_v = 0,3$	$v_h = 0,875$ $v_v = 0,375$	$a_h = 4,38$ $a_v = 1,875$
Otočení s polotovarem	$t_c = 1,2$	$\varphi = 90^\circ$ $r_o = 0,9$	$\omega_u = 93,75$	$\varepsilon = 6,82$ $a_t = 6,14$ $a_d = 2,41$
Vložení polotovaru do lisu	$t_c = 1,1$	$s_h = 1\text{ m}$ $s_v = 0,4\text{ m}$	$v_h = 1,14$ $v_v = 0,45$	$a_h = 5,17$ $a_v = 2,07$
Lisování	$t_c = 2$	–	–	–
Vyjmutí výlisku z lisu	$t_c = 1,1$	$s_h = 1\text{ m}$ $s_v = 0,4\text{ m}$	$v_h = 1,14$ $v_v = 0,45$	$a_h = 5,17$ $a_v = 2,07$
Otočení s výliskem	$t_c = 1,2$	$\varphi = 90^\circ$ $r_o = 0,9$	$\omega_u = 93,75$	$\varepsilon = 6,82$ $a_t = 6,14$ $a_d = 2,41$
Vložení výlisku na paletu	$t_c = 1$	$s_h = 0,7$ $s_v = 0,4$	$v_h = 0,875$ $v_v = 0,5$	$a_h = 4,38$ $a_v = 2,5$
Položení	$t_c = 0,5$	–	–	–
Přesun nad dopravník	$t_c = 1,5$	$\varphi = 180^\circ$ $r_o = 0,9$	$\omega_u = 150$	$\varepsilon = 8,73$ $a_t = 7,85$ $a_d = 6,17$

5 Varianty řešení

V této kapitole jsou popsány jednotlivé konstrukční návrhy efektoru. Všechny varianty mají připojovací interface umístěny tak, aby mohl robot zakládat polotovary do lisu. To znamená, že těžiště efektoru ani těžiště OM, nejsou v ose příruby robotu (Obrázek 5.2).



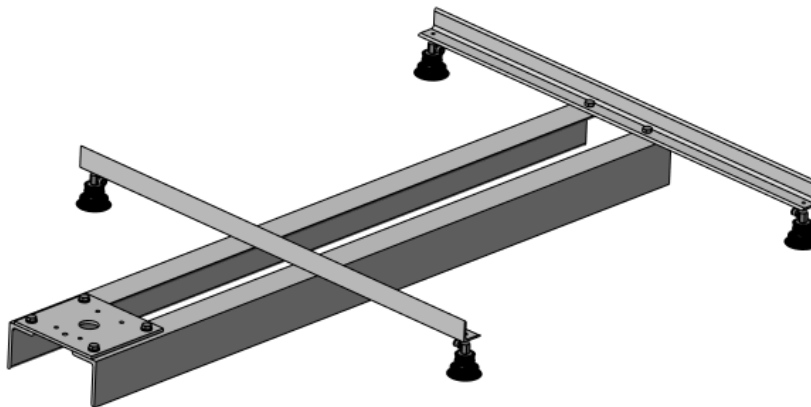
Obrázek 5.1 – Vkládání polotovatu do lisu



Obrázek 5.2 – Poloha robotu a OM při vkládání: 1-interface, 2-Lis

5.1 Varianta A

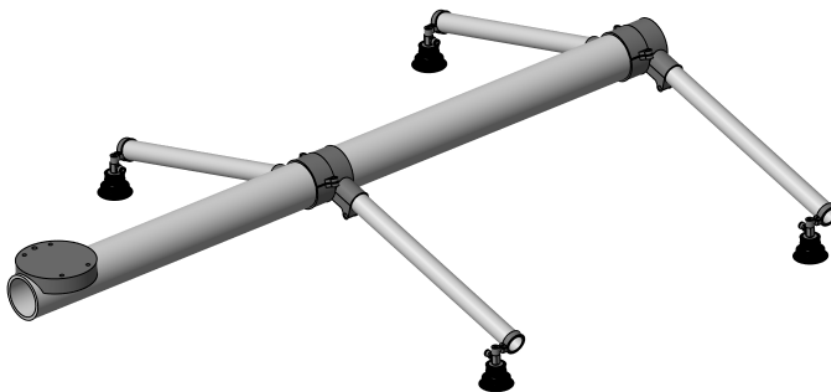
Tato varianta (Obrázek 5.3) se skládá z ocelových L profilů, které jsou k sobě spojeny šrouby. Tato varianta používá k uchopování objektu manipulace vakuové přísavky. Jako příruba k připojení interface robotu je použit plech s dírami pro šrouby. Hmotnost varianty je přibližně 16 kg.



Obrázek 5.3 – Varianta A

5.2 Varianta B

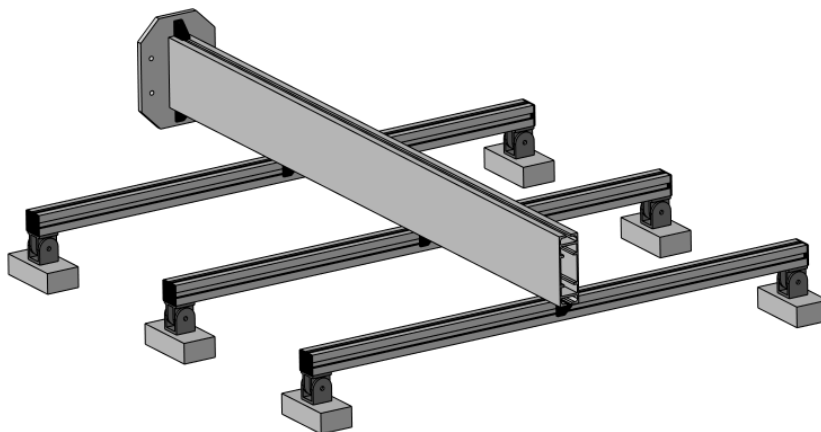
Varianta B (Obrázek 5.4) používá k uchopení vakuové přísavky, stejně jako předchozí varianta. Konstrukce této varianty je složená z ocelových trubek, spojených svěrnými spoji. Tato konstrukce nabízí přestavění dle momentální potřeby. Díky svěrným spojům je možné individuální ustavení všech částí. Hmotnost varianty je přibližně 15 kg.



Obrázek 5.4 – Varianta B

5.3 Varianta C

Tato varianta je složená z hliníkových profilů. Spoje umožňují konstrukci opětovně skládat a rozkládat, a tím ji v případě potřeby upravit. V této variantě jsou jako uchopovací prvky použity elektromagnety upevněné na kloubech, které umožňují kompenzaci nerovného povrchu objektu manipulace. Hmotnost této varianty je přibližně 11 kg.



Obrázek 5.5 – Varianta C

6 Výběr optimální varianty

K výběru variant byla použita metoda hodnotové analýzy

6.1 Zvolení kritérií

Tabulka 2 – Hodnocená kritéria

Kritérium		Charakteristika kritéria
K1	Hmotnost	Minimalizace hmotnosti
K2	Složitost konstrukce	Minimální
K3	Energie	Potřeba energií (elektrická, pneumatická...)
K4	Tuhost	Maximální tuhost konstrukce
K5	Údržba	Minimalizace nákladů na údržbu

Pro hodnocení je použita stupnice 1 až 6:

Tabulka 3 – Hodnocení kritérií

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tabulka 4 – Zhodnocení kritérií

Kritérium	varianta A	varianta B	varianta C
K1	3	3	5
K2	5	3	3
K3	4	4	6
K4	5	5	3
K5	4	4	5

6.2 Určení významnosti

Tabulka 5 – Váha významnosti kritérií

Porovnávané páry				Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	3	2.	1,75
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	2	3.	1,5
	K3	K4	K5			
		K3	K3	1	4.	1,25
		K4	K5			
			K4	4	1.	2
			K5	0	5.	1

Váha významnosti q byla zvolena podle lineární závislosti: $q = 0,25 \cdot v + 1$

Tabulka 6 – Zhodnocení varianty A

Kritérium	Varianta A		
	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index
K1	3	1,75	5,25
K2	5	1,5	7,5
K3	4	1,25	5
K4	5	2	10
K5	4	1	4
Celkový součet vážených indexů			31,75

Tabulka 7 – Zhodnocení varianty B

Kritérium	Varianta B		
	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index
K1	3	1,75	5,25
K2	3	1,5	4,5
K3	4	1,25	5
K4	5	2	10
K5	3	1	4
Celkový součet vážených indexů			28,75

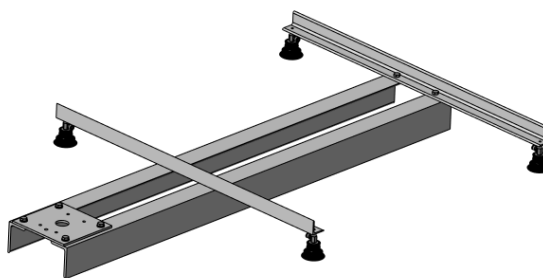
Tabulka 8 – Zhodnocení varianty C

Kritérium	Varianta C		
	Hodnota	Váha významnosti	Vážený index
K1	5	1,75	8,75
K2	3	1,5	4,5
K3	6	1,25	7,5
K4	3	2	4
K5	3	1	5
Celkový součet vážených indexů			29,75

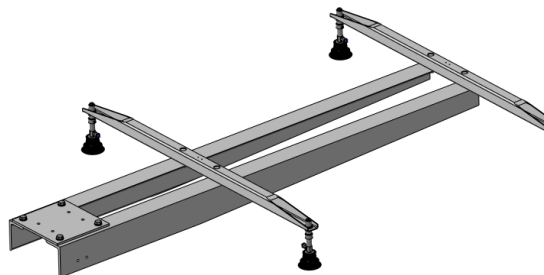
Na základě hodnotové analýzy jsem vybral jako optimální variantu A, konstrukci z profilů L průřezu. Tuto varianta bude dále rozpracovaná.

7 Konstrukční řešení

V této kapitole je dále rozpracovaná zvolená varianta A (Obrázek 7.1). Konstrukce efektoru byla lehce pozměněna (Obrázek 7.2), z důvodu větší tuhosti byly profily průřezu L vyměněny za profily čtvercového průřezu, profily byly také na koncích zúženy aby se odstranil přebytečný materiál a celý efektor se tak odlehčil.



Obrázek 7.1 – Původní varianta



Obrázek 7.2 – Upravená varianta

7.1 Vakuová technika

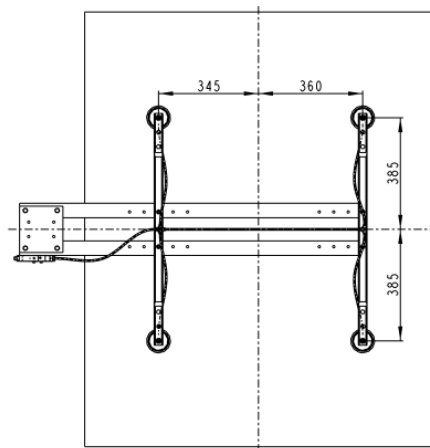
7.1.1 Výpočet průměru přísavek

Největších hodnot zrychlení dosahuje efektor při otáčení s polotovarem, bude proto počítáno s těmito hodnotami. (Tabulka 1)

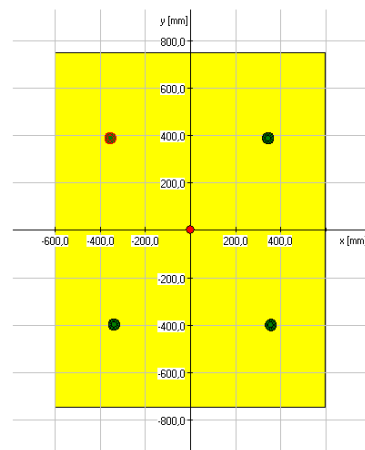
$$a_t = 6,14 \frac{m}{s^2}$$

$$a_d = 2,41 \frac{m}{s^2}$$

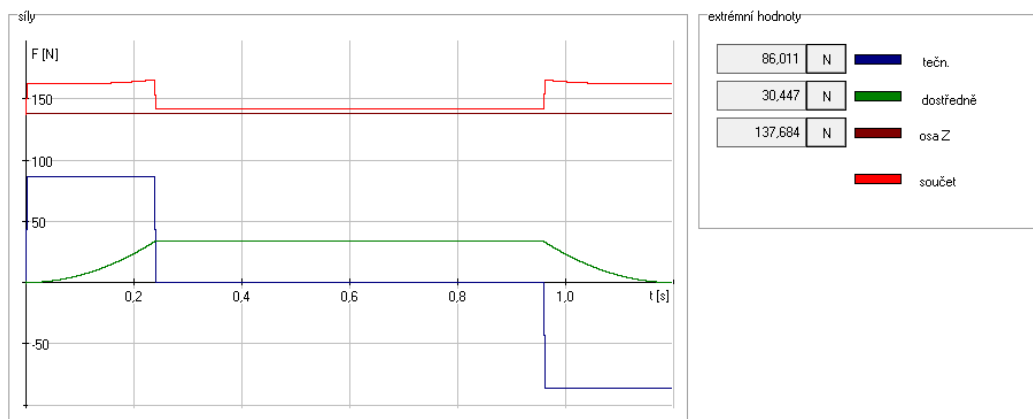
K výpočtu přísavek byl použit software pro výběr prvků pro vakuum od firmy FESTO. V tomto programu lze nadefinovat tvar a rozměry objektu manipulace, uspořádání přísavek (Obrázek 7.4) a parametry pohybu (rotační/posuvný, rychlost, zrychlení). Dále si uživatel zvolí parametry přísavek, ejektoru a hadice, které se budou počítat. Software vypočítá jaké působí síly na jednotlivé přísavky v každém bodě pohybu a výsledek vykreslí do grafu (Obrázek 7.5).



Obrázek 7.3 – Romístění přísavek

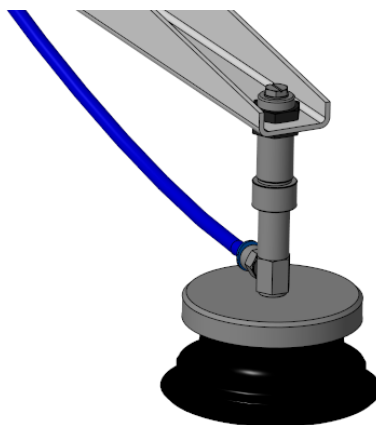


Obrázek 7.4 – Počítané přísavky v software FESTO



Obrázek 7.5 – Průběh sil při rotaci

Na základě výpočtů byly vybrány přísavky ESG-80-BN-HDL-QS (Obrázek 7.6) a vakuový ejektor OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N. Tyto přísavky jsou zatíženy maximálně na 30%, což je bezpečná hodnota. Zatížení u přísavek menšího průměru přesahovalo 75%, což program označil jako nevhodné přetížení.



Obrázek 7.6 – Spoj přísavky s efektozem

7.1.2 Kontrola přísavek

Při pohybu tělesa v kapalném nebo plynném prostředí vzniká odporová síla, způsobená obtékáním tekutiny kolem tělesa. Protože pohyb je relativní, nezáleží na tom, jestli se těleso pohybuje v nehybné tekutině, nebo jestli je těleso v klidu a kolem něj proudí tekutina. Rozhodující je relativní rychlost mezi tělesem a tekutinou.

V software pro výběr prvků pro vakuum není zohledněn odpor vzduchu při pohybu. Proto bude výpočet proveden samostatně.

Vztah pro výpočet odporové síly je následující [9]:

$$F_o = C \frac{1}{2} \rho v^2 S_{OM}$$

C je součinitel odporu, vyjadřuje závislost odporu prostředí na tvaru tělesa. Pro tvar rovné tenké desky má hodnotu 1,2.

Hustota vzduchu ρ při 20 °C v atmosferickém tlaku je 1,205 kg·m⁻³ [11].

Největší odporová síla bude působit při přesunu s polotovarem (viz. Tabulka 1), při kterém je svislá rychlost 0,375 m·s⁻¹.

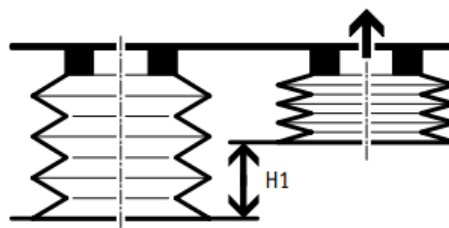
$$S_{OM} = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ m}^2$$

$$F_o = 1,2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,205 \cdot 0,375^2 \cdot 1,8 = 0,183 \text{ N}$$

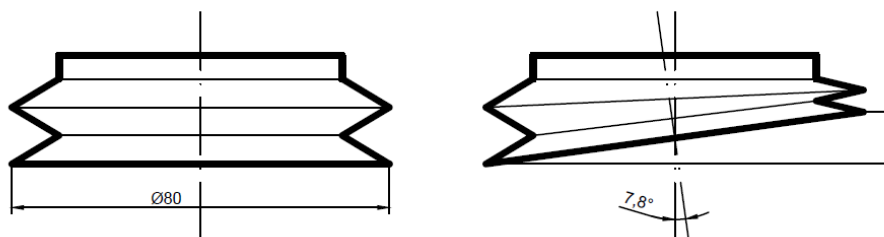
Vzhledem k malé hodnotě odporové síly, považuji odpor vzduchu v tomto případě jako zanedbatelný.

7.1.3 Úhlové vyrovnání

Při zvedání plochého polotovaru kompenzují přísavky možné úhlové odchylky zapříčiněné deformací plechu pod vlastní tíhou. Při zvedání výlisku (Obrázek 7.10) musí ovšem přísavky kompezovat i zakřivení povrchu. Výrobce neudává dovolený sklon povrchu objektu manipulace k ose přísavek. Festo udává výškové vyrovnání, které je u vybrané přísavky H1 = 11 mm (Obrázek 7.7). Z tohoto výškového vyrovnání jsem odvodil maximální úhel sklonu uchopovaného povrchu $\alpha_{\max} = 7,8^\circ$ (Obrázek 7.8). Festo dále předepisuje minimální poloměr zakřivení objektu manipulace, pro skládané přísavky s 1,5 měchu o průměru 80 mm je tento poloměr 430 mm, popřípadě 100 mm, pokud je materiál přísavky Vulkollan® [7].

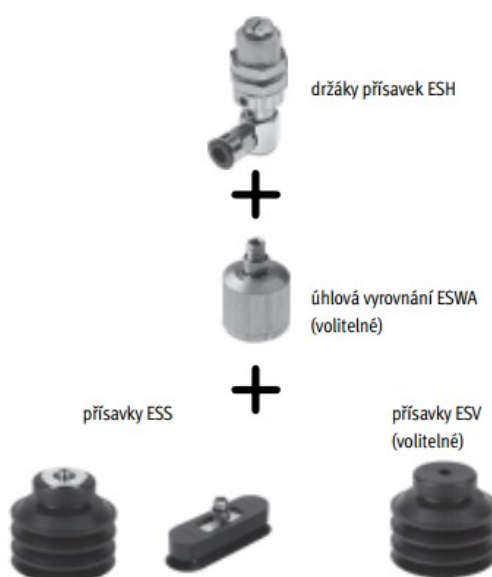


Obrázek 7.7 – Výškové vyrovnání[7]

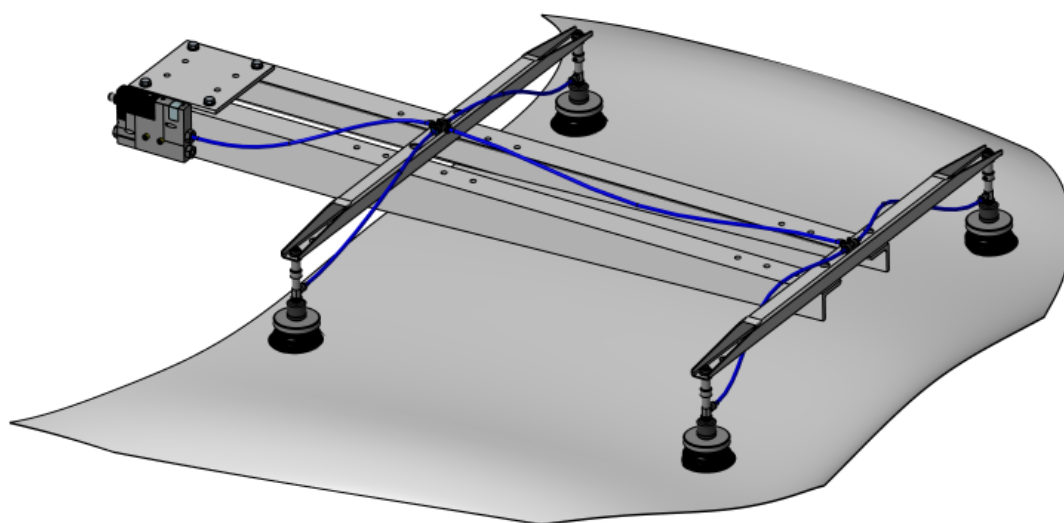


Obrázek 7.8 – Maximální úhel sklonu

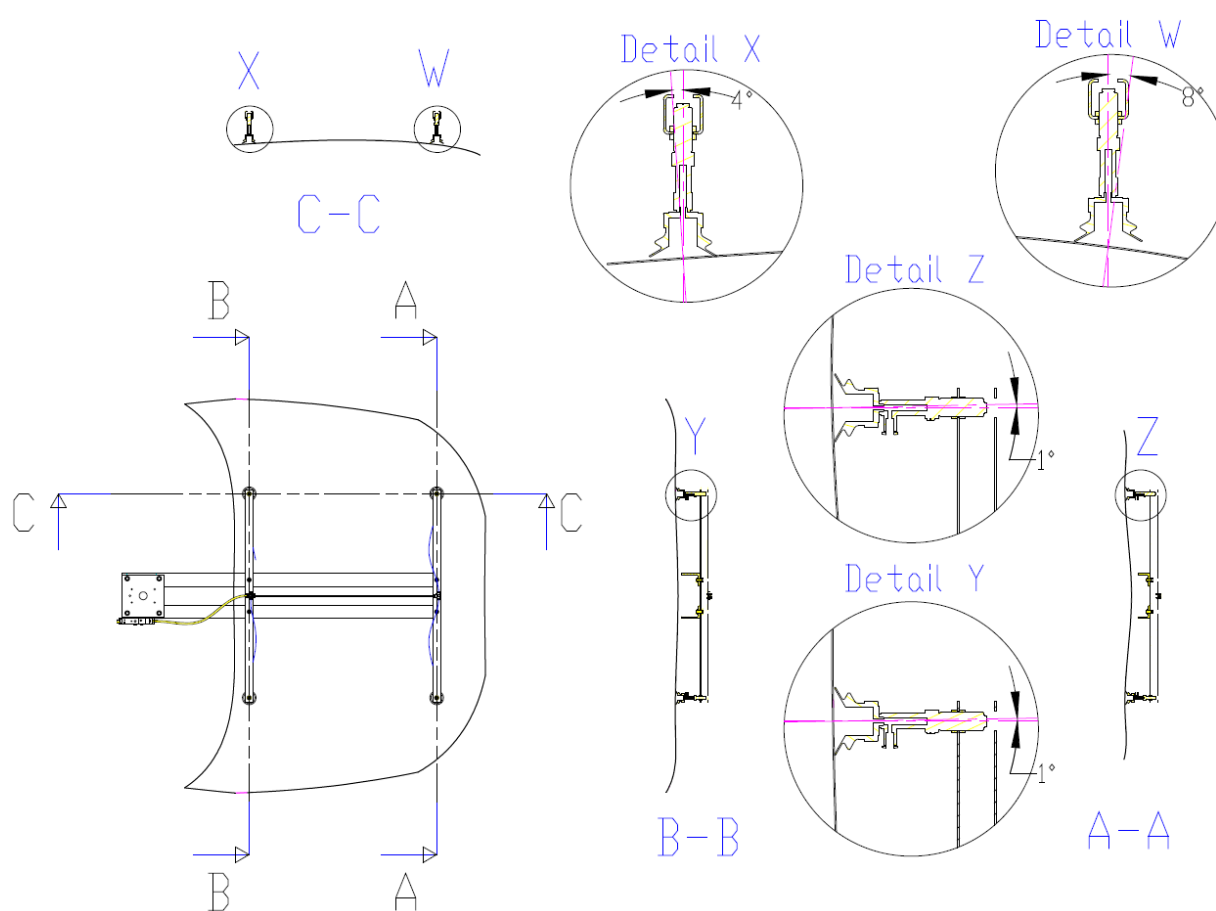
Největší úhel, který musí přísavka v našem případě kompenzovat je 8° (Obrázek 7.11). Na to samotná deformace přísavky nestačí. Přísavka se proto bude muset naklonit, aby nemusela kompenzovat tak velký úhel. K tomuto účelu nabízí FESTO díl pro úhlové vyrovnání ESWA. Zapojení dílu je patrné ze sestavy (Obrázek 7.9). Pokud se pomocí tohoto dílu nakloní přísavky o 4° , budou muset kompenzovat pouze 4° na polotovaru i na výlisku.



Obrázek 7.9 – Sestava přísavky



Obrázek 7.10 – Uchopení výlisku



Obrázek 7.11 – Úhly os přísavek k normále povrchu výlisku

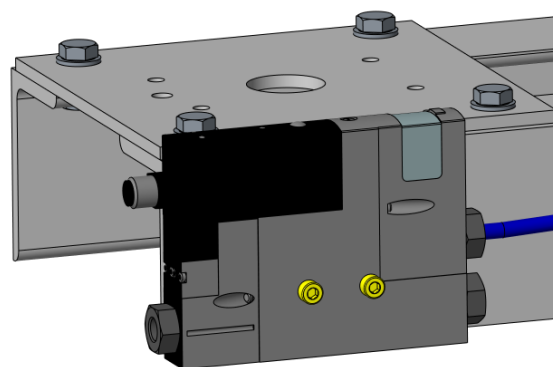
7.1.4 Ejektor

Vybraný ejektor OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N (Obrázek 7.12) je přišroubován k L nosníku dvěma šrouby M5x35. Umístění ejektoru je zvoleno co nejbližší k připojení interface robotu, z důvodu minimalizace klopného momentu. Hmotnost ejektoru je 350g.

Ventil v ejektoru je v klidovém stavu uzavřen. V případě výpadku energie se tedy uzavře a efektor neupustí právě přenášený objekt manipulace.



Obrázek 7.12 – Vybraný ejektor



Obrázek 7.13 – Umístění na efektoru

7.1.5 Hadice a šroubení

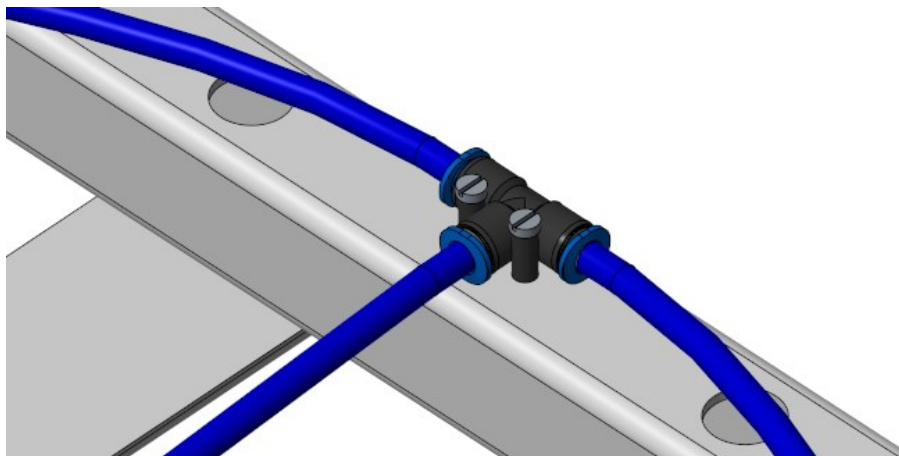
Efektor a přísavky jsou propojeny hadicí z polyuretanu, kalibrovanou na vnější průměr 6 mm, tato hadice se rozbočuje pomocí šroubení (Obrázek 7.14 a Obrázek 7.15). Šroubení je použito ve tvaru T a X a je přišroubováno k nosníku čtvercového průřezu (Obrázek 7.16) ve kterém jsou vyvrtány díry se závitem M3.



Obrázek 7.14 – Šroubení QST-6



Obrázek 7.15 – Šroubení QSX-6



Obrázek 7.16 – Umístění šroubení na efektoru

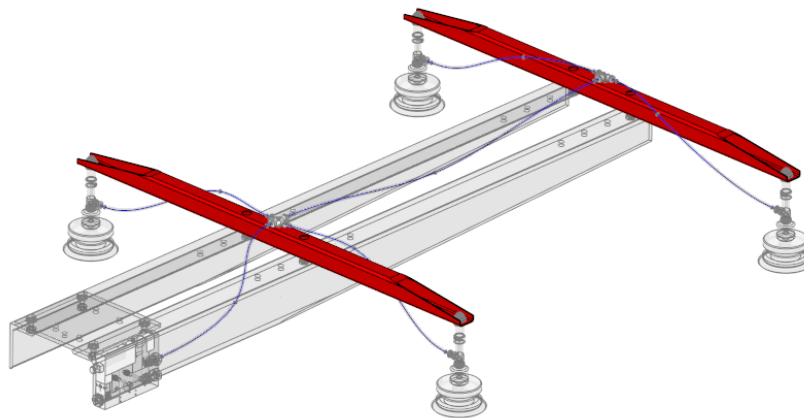
7.2 Nosníky

Konstrukce efektoru je vyrobena ze standardních polotovarů vybraných z katalogu firmy Ferona. Přísavky jsou přišroubovány k nosníkům čtvercového průřezu. Tyto nosníky jsou pak přišroubovány k dvěma tyčím průřezu L.

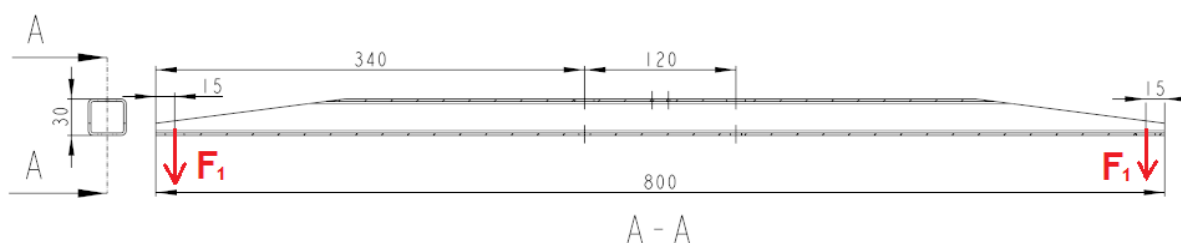
Materiál obou typů profilu je S235JR dle EN 10025-2. Pevnost v tahu této oceli je $R_m = 360 - 510 \text{ MPa}$. (Příloha B:)

7.2.1 Čtvercový profil

Jedná se o profil čtvercového průřezu s délkou strany 30 mm a tloušťkou stěny 2 mm. Na krajích je materiál odfrézovaný z důvodu odlehčení konstrukce a pro lepší přístup k maticím , kterými jsou připojeny přísavky. Přidané díry umožňují různé umístění přísavek. Tento nosník je zatěžován silou působící v ose přísavek a vlastní tíhou (Obrázek 7.18). Hmotnost nosníku je 1,13 kg.



Obrázek 7.17 – Počítaný profil (červeně)



Obrázek 7.18 – Zatížení profilu

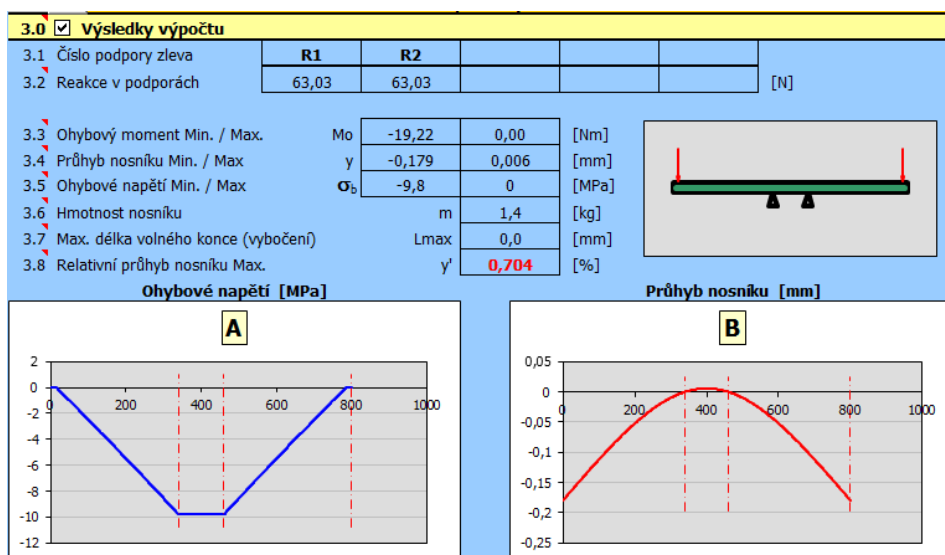
Síla F_1 :

$$a_{\max} = a_t = 6,14 \frac{m}{s^2} \text{ (Tabulka 1)}$$

$$F_1 = (g + a_{\max}) \cdot m_{OM} \cdot \frac{1}{i}$$

$$F_1 = (9,81 + 6,14) \cdot 14,1 \cdot \frac{1}{4} = 56 \text{ N}$$

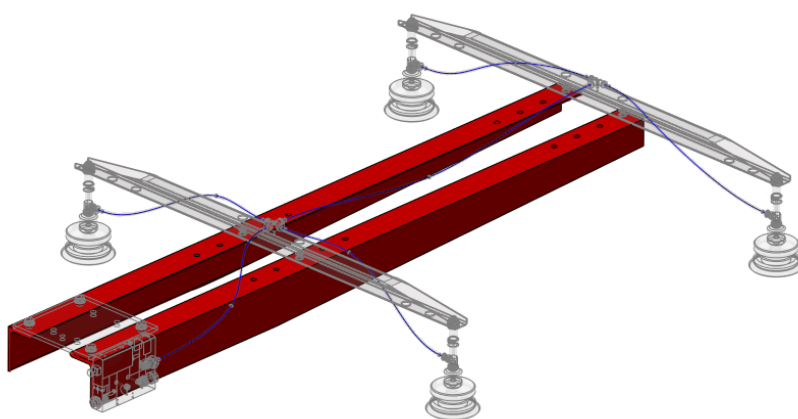
Pomocí programu MITCalc byl proveden výpočet nosníku zatíženého silou F_1 . (Obrázek 7.19). Průhyb na krajích dosahuje 0,18 mm. Maximální ohybové napětí je 9,8 MPa. Celý výpočet v příloze C.



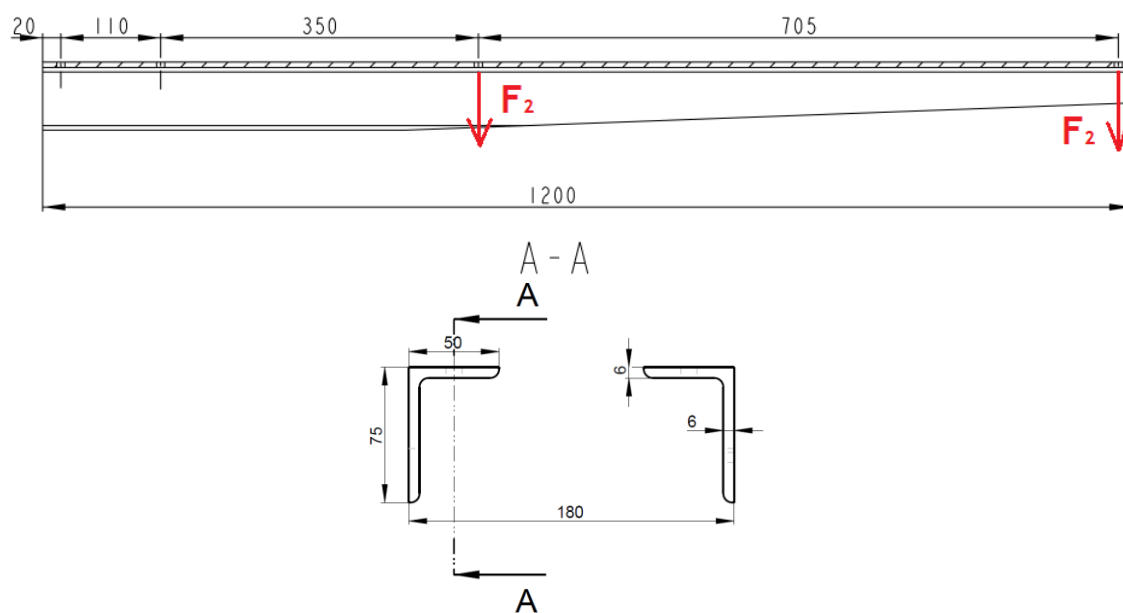
Obrázek 7.19 – Výpočet nosníku v MITCalc

7.2.2 Profil L

Tyto profily (Obrázek 7.20) jsou použity jako hlavní nosný prvek konstrukce. Jedná se o profily průřezu L s rozměry 75x50x6. Jsou k nim přišroubovány nosníky čtvercového průřezu, které je zatěžují. Tyto nosníky, jsou také zúžené na koncích kvůli odlehčení a aby nepřekážely objektu manipulace při uchopení.



Obrázek 7.20 – Počítaný profil (červeně)



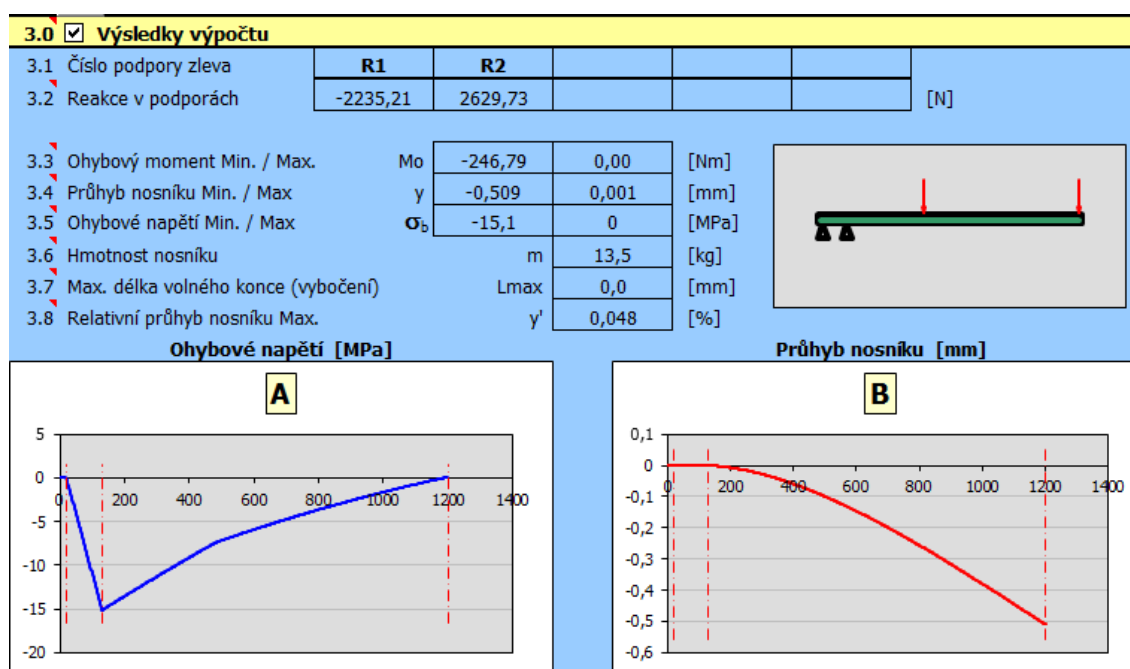
Obrázek 7.21 – Zatížení nosníku

Síla F_2 :

$$F_2 = (g + a_{\max}) \cdot m_1 + 2 \cdot F_1$$

$$F_2 = (9,81 + 6,14) \cdot 1,13 + 2 \cdot 56 = 130 \text{ N}$$

Podle výpočtu (Obrázek 7.22) je největší průhyb nosníku 0,51 mm a největší ohybové napětí 15,1 MPa. Celý výpočet v příloze D.

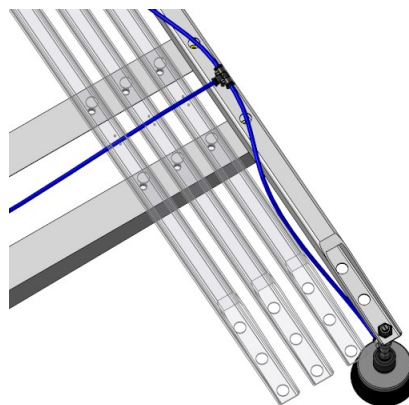


7.3 Přestavitelnost

Přidané díry v profilech umožňují přestavění konstrukce podle aktuální potřeby. Díry ve čtvercovém profilu slouží k různému umístění přísavek (Obrázek 7.23). Obdobně jsou použity i díry v profilu L (Obrázek 7.24).



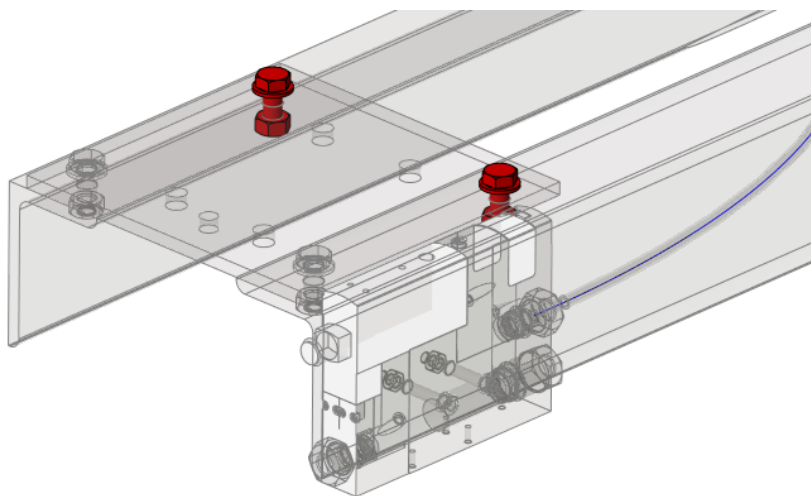
Obrázek 7.23 – Možné polohy přísavky



Obrázek 7.24 – Přestavitelnost konstrukce

7.4 Šroubové spoje

Nejvíce namáhané je šroubové spojení příruby s profilem L průřezu. Z výpočtu z předchozí kapitoly známe reakci R_2 v podpoře (Obrázek 7.22). Tato síla je maximální síla působící v ose šroubu. Minimální síla působí když efektor nepřenáší objekt manipulace. Jedná se tedy o pulzující průběh zatížení.



Obrázek 7.25 – Počítané šrouby

Osová síla ve šroubu:

$$F_{amax} = \frac{R2}{2} = \frac{2630}{2} = 1315 \text{ N}$$

$$F_{amin} = 458 \text{ N}$$

1.0 ☒ **Zatížení spoje, základní parametry výpočtu.**

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 **Režim zatížení, typ spoje**

1.3 Provedení šroubového spoje B ... Spojení součástí průchozím šroubem s maticí

1.4 Zatížení šroubového spoje Zatížení v ose šroubu

1.5 Průběh zatížení Pulzující zatížení

A

B

1.6 **Zatížení spoje**

1.7 Maximální osová síla	Famax	1315,00	[N]
1.8 Minimální osová síla	Famin	458,00	[N]

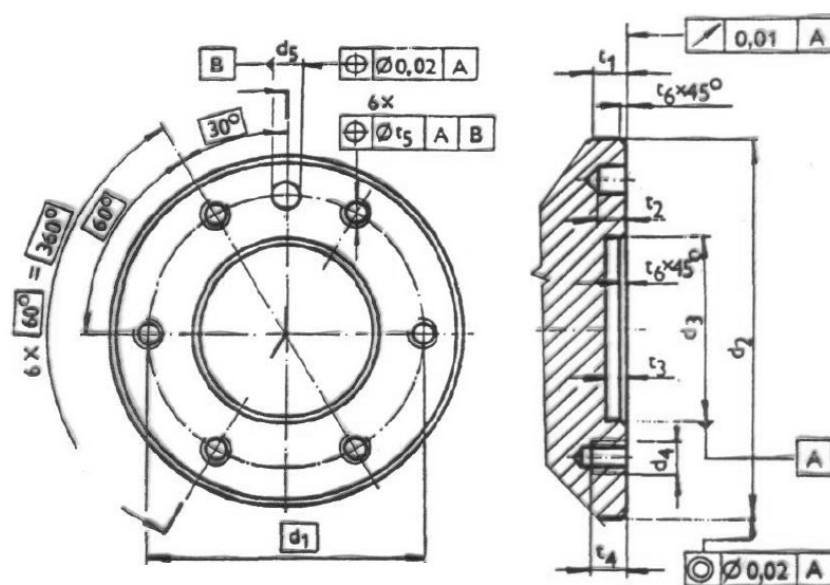
Obrázek 7.26 – Zadání výpočtu šroubového spojení v MITCalc

6.0	<input checked="" type="checkbox"/> Pevnostní kontroly spoje.		
6.1	Pevnostní kontrola staticky zatíženého šroubového spoje		
6.2	Tahové napětí v jádře šroubu od maximální osově síly	σ	80,11 [MPa]
6.3	Napětí v krutu v jádře šroubu od utahovacího momentu	τ	35,16 [MPa]
6.4	Přídavné ohybové napětí	σ_b	0,00 [MPa]
6.5	Výsledné redukované napětí v jádře šroubu	σ_{red}	100,63 [MPa]
6.6	Mez kluzu materiálu šroubu	R_e	634 [MPa]
6.7	Bezpečnost na mezi kluzu	n	6,30
6.8	Kontrola tlaku v dosedací ploše hlavy šroubu		
6.9	Tlak v dosedací ploše hlavy (matice) šroubu	p	34,02 [MPa]
6.10	Dovolený tlak v krajní sevřené části	p_D	490 [MPa]
6.11	Pevnostní kontrola dynamicky zatíženého šroubového spoje		
6.12	Střední osová síla cyklu zatěžující šroub	F_m	2590,61 [N]
6.13	Amplituda osově síly cyklu zatěžující šroub	F_a	39,93 [N]
6.14	Střední napětí cyklu v jádře závitu	σ_m	78,89 [MPa]
6.15	Amplituda napětí cyklu v jádře závitu	σ_a	1,22 [MPa]
6.16	Základní mez únavy v tahu daného materiálu šroubu	σ_c'	392 [MPa]
6.17	Korigovaná mez únavy v tahu daného šroubu	σ_c	77 [MPa]
6.18	Mez únavy v tahu při omezené životnosti	σ_f	77 [MPa]
6.19	Max. únavová pevnost šroubu pro daný průběh zatížení	σ_A	58,60 [MPa]
6.20	Dynamická bezpečnost v tahu	n_σ	48,19
6.21	Bezpečnost v krutu	n_τ	10,40
6.22	Výsledná dynamická bezpečnost	n	47,96

Obrázek 7.27 – Vypočtené hodnoty

7.5 Příruba

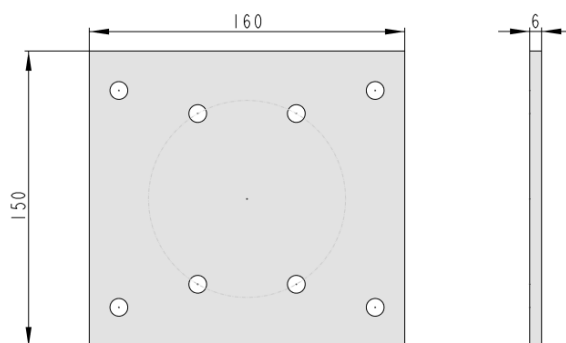
Příruba je vyrobena z plechu tloušťky 6mm. Jsou v ní vyvrtány díry tak, aby odpovídaly normalizovanému interface robotu o průměru 100 mm podle normy ISO 9409 – 1 [1] (Obrázek 7.28). Efektor je s robotem spojen čtyřmi šrouby M8. Příruba je se zbytkem efektoru spojena šroubovými spoji M8. Jako alternativní řešení se nabízí přivaření příruby k L nosníkům. Pro výpočet namáhání a deformace příruby by bylo zapotřebí využít simulaci v některém z CAD systémů. Tato simulace nebude součástí této bakalářské práce.



Obrázek 7.28 – Provedení interface dle ISO

Tabulka 9 – Provedení interface dle ISO

Roztečný průměr d_1	d_2 h8	d_3 H7	d_4	d_5 H7	t_1 min.	t_2 min.	t_3 min.	t_4	t_5	t_6	Počet otvorů
100	125	63	M8	8	6	8	6	-	0,15	1	6



Obrázek 7.29 – Příruba

7.6 Úprava na hliník

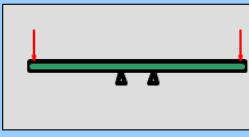
Vzhledem ke špatnému poměru hmotnosti objektu manipulace k hmotnosti efektoru, se pokusím snížit hmotnost efektoru výměnou materiálu za hliník.

Poměr hmotnosti:

$$\frac{m_{OM}}{m_{ef}} = \frac{14,1}{16,5} = 0,85$$


Při zachování současných rozměrů profilů tj. 30x2 pro čtvercový a 75x50x6 pro L profil, budou průhyby následující:

Mo	-18,55	0,00	[Nm]
y	-0,521	0,016	[mm]
σ _b	-9,5	0	[MPa]
m	0,5		[kg]
Lmax	0,0		[mm]
y'	2,051		[%]



Obrázek 7.30 – Hliníkový profil

Mo	-204,70	0,00	[Nm]
y	-1,288	0,003	[mm]
σ _b	-12,6	0	[MPa]
m	4,6		[kg]
Lmax	0,0		[mm]
y'	0,120		[%]



Obrázek 7.31 – Hliníkový profil L

V případě čtvercového profilu by se průhyb zvětšil z 0,18 mm na 0,52 mm. Průhyb profilu L se změní z 0,51 mm na 1,29 mm. Zvětšení průhybu v tomto případě není příliš škodlivé, neboť při vkládání do lisu není potřeba velké přesnosti polohování. Efektor spouští polotovar přibližně z centimetrové výšky a lisovací ústrojí je tvarované tak, že polotovar dosedne na požadované místo.

Touto změnou materiálu jsem dosáhl výrazného snížení hmotnosti a tím zlepšení hmotnostního poměru. Nový poměr:

$$\frac{m_{OM}}{m_{ef}} = \frac{14,1}{6,7} = 2,1$$

8 Cenová kalkulace

Položka	ks	cena
L profil 75x50x6	2,44m	600,2
Jekl 30x30x2	1,64m	132,8
Plech 6/150x160mm	1	30,-
Přísavka ESG-80-BN-HDL-QS	4	2750,-
Ejektor OVEM-05-H-B-GN-CE-N-1N	1	11370,-
Hadice PUN-6x1	3m	160,-
Spojovací materiál a rezerva pro ostatní příslušenství		1000,-
Cena celkem		16043,-

Do ceny nejsou započítány pracovní hodiny, ceny obrábění ani transport. Cena profilů byla uvedena podle současných cen hliníku v obchodě ehlinik.cz . Cena příruby je spočítaná poze na plech o rozměrech příruby, v praxi bývá plech prodáváný v jednotkách od jednoho nebo dvou metrů čtverečních, tato skutečnost by dále zvedla cenu. Spojovací materiál jako jsou šrouby, matice a podložky jsem zahrnul do jedné položky v ceníku, společně s rezervou na ostatní příslušenství.

Závěr

Podle zadání jsem si stanovil tvar, rozměry a hmotnost objektu manipulace. Navrhl jsem zjednodušené robotické lisovací pracoviště. Z navržených rychlostí a rozsahů pohybu robotu jsem určil rychlosti a zrychlení robotu. z těchto hodnot jsem vypočítal síly působící na efektor.

Podle stanovených požadavků jsem navrhl tři varianty řešení. Podle hodnotové analýzy jsem vybral optimální variantu A. Tato varianta byla dále rozpracována.

Efektor se skládá z nosníků, které jsou k sobě připojeny šroubovými spoji. Na těchto nosnících jsou připojeny čtyři přísavky, které uchopují objekt manipulace. Pneumatická technika efektoru je od firmy FESTO. Všechny čtyři vakuové přísavky jsou připojeny na jeden ejektor, který vytváří podtlak.

Při výpočtu dílů efektoru bylo uvažováno s materiálem ocelí. Materiál byl po konzultaci s vedoucím změněn na hliník. Při zachování stejných rozměrů profilů tak došlo k zvětšení průhybů. Z důvodu změny materiálu jsem nechal šrouby počítané v kapitole 7.4. lehce předimenzované, neboť jsou počítány pro spojení oceli a v případě, že by spojovaly hliník by byla jejich výsledná dynamická bezpečnost přibližně poloviční.

Příruba by měla být podrobena pevnostní analýze. Neuváděl jsem ji zde protože se této problematice budu věnovat až v příštích ročnících a v současné době bych si nebyl jistý definicí zadání simulace a posouzením výsledků.

3D model a výkresová dokumentace sestavy a jednotlivých dílů jsou vytvořeny v CAD programu Creo Parametric 3.0. Výpočty průhybu nosníků a dynamické namáhání šroubových spojení byl provedeno v programu MITCalc.

Seznam použitých pramenů

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] Vacuum Cup Basics. In: [online]. Dostupné z: <http://www.emicorp.com/eoat/forms-pdfs/vacuum-cup-basics.pdf>
- [3] MAGNETIC END EFFECTOR TYPES. In: [online]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/65794/Magnetic-Robot-End-Effector-Top-5-Pros-and-Cons>
- [4] ABB. Stamp Moves. In: [online]. Dostupné z: [http://www09.abb.com/global/scot/scot300.nsf/veritydisplay/c2351484f849d24dc12571fb002f2786/\\$file/01%20StampMoves.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot300.nsf/veritydisplay/c2351484f849d24dc12571fb002f2786/$file/01%20StampMoves.pdf)
- [5] Lis. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lis>
- [6] FAGOR. *Press Lines* [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.fagorarrasate.com/uk/product/3/26/press-lines.aspx>
- [7] Přisavky ESS/ESV. In: <Http://www.festo.com/> [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESS-ESV_CZ.PDF
- [8] Přisavka (technika). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADsavka_\(technika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADsavka_(technika))
- [9] Odpor prostředí. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Odpor_prost%C5%99ed%C3%AD
- [10] Součinitel odporu. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sou%C4%8Dinitel_odporu
- [11] Hustota suchého vzduchu. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/70-hustota-sucheho-vzduchu>
- [12] *Ehlinik* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/>

Seznam příloh

Přiložený disk:

Příloha A:	<i>Datasheet robotu IRB 4400</i>
Příloha B:	<i>Přehled vlastností oceli S235JR</i>
Příloha C:	<i>Výpočet nosníku čtvercového průřezu</i>
Příloha D:	<i>Výpočet nosníku průřezu L</i>
Příloha E:	<i>CAD model efektoru</i>

Dokumentace:

Příloha F:	<i>Sestavný výkres:</i>	<i>PAS0067-BP-00</i>
Příloha G:	<i>Výkres příruby:</i>	<i>PAS0067-BP-01</i>
Příloha H:	<i>Výkres nosníku L:</i>	<i>PAS0067-BP-02</i>
Příloha I:	<i>Výkres nosníku L:</i>	<i>PAS0067-BP-03</i>
Příloha J:	<i>Výkres čtvercového nosníku:</i>	<i>PAS0067-BP-04</i>